

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

УДК 502.3

DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-3-63-80

Утилизация транспортных средств: российские реалии и зарубежный опыт

М.Е. Семерикова¹, Т.В. Наумова¹

¹*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Аннотация: Обращение с воздушными судами, выведенными из эксплуатации, – проблема относительно новая для отечественной гражданской авиации. Многие десятилетия в общемировом опыте доминировала практика их размещения на открытых площадках, так называемых кладбищах самолетов. Вместе с тем возрастающие требования к охране окружающей среды вынуждают внедрять экологически рациональные формы деятельности на всех этапах жизненного цикла технического устройства, в том числе на заключительном этапе – разуконплектования и утилизации. Выявлено, что в России отсутствует упорядоченная система обращения с авиационной техникой в постэксплуатационный период ее жизненного цикла. Однако потребность в такой системе существует, и она будет возрастать, поскольку «Комплексной программой развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года» предполагается в условиях западных санкций постепенное выведение из парка авиакомпаний воздушных судов иностранного производства. В ходе исследования выполнен обзор нормативно-правового обеспечения процессов утилизации на автомобильном, железнодорожном и морском транспорте России; проанализирована деятельность российских компаний, занимающихся утилизацией авиационной техники и выявлены противоречия на рынке утилизационных услуг; для владельцев транспортных средств предложены инструменты стимулирования утилизации; изучен и обобщен зарубежный опыт, в частности проекты PAMELA и Airbus Lifecycle Services корпорации Airbus, деятельность ассоциации AFRA корпорации Boeing, проект Falcon Aircraft Recycling компании Emirates, международный проект Airbus China.

Ключевые слова: жизненный цикл воздушного судна, утилизация, экологически рациональное управление отходами.

Для цитирования: Семерикова М.Е., Наумова Т.В. Утилизация транспортных средств: российские реалии и зарубежный опыт // Научный вестник МГТУ ГА. 2025. Т. 28, № 3. С. 63–80. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-3-63-80

Recycling of vehicles: Russian realities and foreign experience

M.E. Semerikova¹, T.V. Naumova¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

Abstract: The handling of decommissioned aircraft is a relatively new problem for national civil aviation. For many decades, the global experience has been dominated by the practice of placing them in open areas, the so-called cemeteries of aircraft. At the same time, the increasing requirements for environmental protection force the introduction of environmentally sound forms of activity at all stages of the life cycle of a technical device, including at the final stage – disassembly and disposal. It has been revealed that in Russia there is no orderly system for handling the aviation equipment in the post-operational period of its life cycle. However, there is a need for such a system, and it will increase, since the “Comprehensive Program for the Development of the Air Transport Industry of the Russian Federation until 2030” assumes the gradual withdrawal of foreign-made aircraft from the airline fleet under Western sanctions. In the course of the study, an overview of the regulatory and legal support for recycling processes in Russian automobile, railway and marine transport has been carried out; the activities of Russian companies engaged in the disposal of aviation equipment have been analyzed and contradictions in the market of recycling services have been revealed; tools for stimulating recycling are proposed for vehicle owners; foreign experience is studied and summarized, in particular, the PAMELA

and Airbus Lifecycle Services projects of Airbus Corporation, the activities of the AFRA association of Boeing Corporation, the Falcon Aircraft Recycling project of Emirates, the international project Airbus China.

Key words: aircraft life cycle, recycling, environmentally sound waste management.

For citation: Semerikova, M.E., Naumova, T.V. (2025). Recycling of vehicles: Russian realities and foreign experience. Civil Aviation High Technologies, vol. 28, no. 3, pp. 63–80. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-3-63-80

Введение

Любое транспортное средство имеет ограниченный срок эксплуатации, после завершения которого оно выводится из использования и подлежит демонтажу, переработке или утилизации. Авиационный транспорт имеет свою специфику. На смену воздушным судам (ВС), фюзеляж которых изготавливался преимущественно из алюминия, приходят новые поколения самолетов, в конструкции которых применяются современные комплектующие – углеродные композиционные материалы, титановые и стальные сплавы, иные многокомпонентные соединения с уникальными физико-химическими характеристиками, усложняющие процессы разукomплектования и утилизации летательных аппаратов. В совокупности с конструктивной сложностью ВС, спецификой условий их эксплуатации утилизация воздушных судов становится специализированной сферой техногенной деятельности [1]. Не случаен интерес научного сообщества к поиску инновационных подходов к переработке самолета, которые были бы экологически безопасными, экономически эффективными и логистически оправданными [2].

В «Комплексной программе развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года» (далее – Программа) отмечено, что по состоянию на апрель 2022 года доля воздушных судов иностранного производства в действующем парке пассажирских самолетов для осуществления коммерческих воздушных перевозок составила более 67 %. Поскольку в феврале – марте 2022 года авиатранспортная отрасль Российской Федерации столкнулась с геополитическими вызовами и введением санкционных мер со стороны западных партнеров, для нее возникли серьезные риски [3]. В связи с этим в Про-

грамме поставлена цель ускоренного обновления парка ВС преимущественно отечественной техникой. Программой предусмотрены в период до 2030 года поставки 1036 самолетов для нужд гражданской авиации. Процесс будет сопровождаться постепенным выводом из парка авиационных компаний воздушных судов, произведенных за рубежом¹. Безусловно, значительная часть этих самолетов будет полностью выведена из эксплуатации, что потребует дополнительных усилий для их разукomплектования и утилизации.

В данном исследовании акцент сделан на заключительном этапе жизненного цикла ВС – его переработке и утилизации. Исследовательское внимание именно к этому этапу обусловлено следующими аспектами:

- эксплуатация морально и физически устаревшего ВС становится технически опасной и экономически невыгодной, что стимулирует рост объемов техники, подлежащей списанию;
- в российских реалиях перехода на импортозамещение и перспектив в ближайшие годы интенсивного обновления воздушного флота новыми типами ВС российского производства проблема разукomплектования и утилизации снятых с эксплуатации самолетов будет только обостряться;
- в зарубежных авиакомпаниях наблюдается тенденция экономической привлекательности повторного использования отдельных компонентов, выведенных из эксплуатации ВС. По некоторым оценкам, уже сегодня мировой вторичный рынок запчастей и прочих

¹ Распоряжение Правительства РФ № 1693-р от 25.06.2022 «Комплексная программа развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года» [Электронный ресурс] // Гарант. 2022. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/404798711/> (дата обращения: 17.11.2024).

комплекующих оценивается в 2 млрд долларов [4], таким образом, индустрия постэксплуатационного обращения с ВС становится востребованной;

- усугубляются экологические издержки: дефицит некоторых природных ресурсов для производства новой техники с одной стороны и необходимость выделять природные территории под хранилища списанных ВС и содержать их в приемлемых с точки зрения природоохранных требований условиях с другой заставляют искать способы снижения экологических затрат в разработке новых алгоритмов обращения со списанной авиационной техникой (АТ).

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки теоретико-методического обеспечения, которое позволит создать отраслевую систему утилизации АТ.

Методы и методология исследования

Методологическая основа работы представлена концепцией жизненного цикла технического изделия применительно к авиационной технике; объектно ориентированным подходом к сбору информации; сравнительным анализом зарубежного опыта и отечественной практики утилизации транспортных средств; обобщением и конкретизацией требований нормативных документов различных уровней – от международных до отраслевых.

Законодательные инициативы Евросоюза в сфере экологически рационального управления отходами транспорта

Стремительное становление авиации имеет серьезные угрозы для окружающей среды. Поэтому авиационные компании активно работают над снижением негативных последствий на всех этапах жизненного цикла авиационной техники, основными из которых являются этапы производства, эксплуатации и утилизации. Сегодня авиация входит в тройку основных загрязнителей атмосферы, усту-

пая лишь автомобильному транспорту и тяжелой промышленности. Сокращение выбросов в атмосферу способствует сохранению биосферы и здоровья населения, однако соблюдение экологических требований по переходу к низкоуглеродной экономике сдерживает развитие авиаотрасли [5]. С учетом перспективы развития отрасли (рис. 1) [6–8] значительный рост авиационного сектора может привести к серьезным экологическим последствиям.

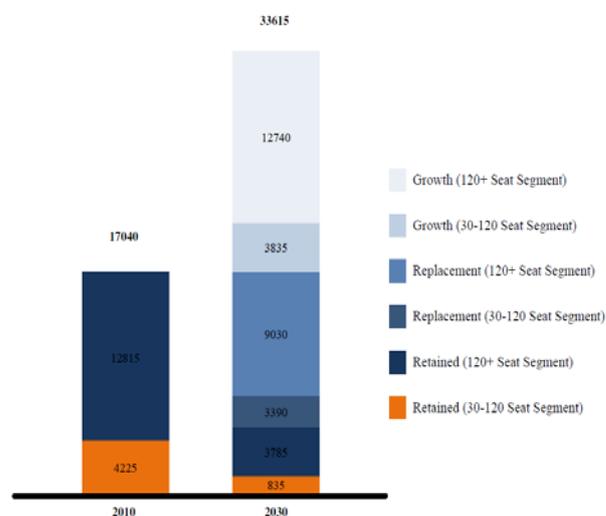


Рис. 1. Динамика мирового парка пассажирских воздушных судов до 2030 года в сегментах на 30–120 посадочных мест и более чем 120 посадочных мест

Fig. 1. Dynamics of the global fleet of passenger aircraft until 2030 in segments with 30–120 seat and more than 120 seats

Еще несколько лет назад самолеты с истекшим сроком эксплуатации отправлялись на свалки по всему миру. Сегодня вопрос утилизации техники активно поднимается во всех отраслях транспорта. В рамках Европейского союза (ЕС) начиная с 2000-х годов Европейская комиссия активно работала над внедрением принципов расширенной ответственности производителя в законодательство. Это значит, что производитель несет ответственность не только за производство нового оборудования, но и за процессы утилизации и переработки оборудования с истекшим сроком службы (ИСС). Так, например, Международная морская организация

приняла международную конвенцию «О безопасности и экологически обоснованной утилизации судов». Морские суда, отправляемые на утилизацию, должны сопровождаться документацией о содержании опасных материалов. Регламент ЕС № 1257/20132 – правовой акт, который регулирует утилизацию морских судов в ЕС. Цель регламента – повышение уровня безопасности, охраны здоровья человека и морской среды на всей территории ЕС на протяжении всего жизненного цикла судов. В частности, обеспечение того, чтобы опасные отходы от утилизации судов подлежали экологически рациональному управлению. Правила регламента применяются ко всем судам под флагом ЕС, а также к судам, плавающим под флагом третьей страны, заходящим в порт или на якорную стоянку государства – члена ЕС.

В ЕС действует ряд директив, регулирующих утилизацию автомобилей [9]:

- Директива 2000/53/ЕС³ – определяет требования по уменьшению образования отходов при выведении автомобиля из эксплуатации и устанавливает ответственность производителей автотранспортной техники за ее утилизацию;
- Директива 2005/64/ЕС⁴ – требует от автопроизводителей предоставлять документы, подтверждающие пригодность транспортных средств к утилизации.

Важно отметить, что в ЕС нет единого законодательства об утилизации автомобилей. Каждое государство занимается этой проблемой в силу своих возможностей.

По примеру Евросоюза Китай, Южная Корея, США, Япония и Тайвань в своем законодательстве также учли принципы расширенной ответственности производителя.

Регламентация утилизации транспортных средств в России

Утилизация транспортных средств – это сложный поэтапный процесс, требующий соблюдения множества нормативных актов и стандартов. Главный закон, регулирующий утилизацию транспортных средств в России, – Федеральный закон № 89 «Об отходах производства и потребления»⁵. Этот закон определяет общие принципы и подходы к обращению с отходами, включая утилизацию транспортных средств. Помимо этого, утилизация транспортных средств регулируется приказами МВД России^{6,7}.

В Российской Федерации процесс утилизации объектов морского транспорта регламентируется постановлением Правительства Российской Федерации № 620⁸. Согласно стандартам процедура утилизации должна

² Регламент Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 1257/2013 от 20.11.2013 «Об утилизации судов и об изменении Регламента (ЕС) 1013/2006 и Директивы 2009/16/ЕС» [Электронный ресурс] // Гарант. 2013. URL: <https://base.garant.ru/70723166/> (дата обращения: 17.08.2024).

³ Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2000/53/ЕС от 18.09.2000 «О транспортных средствах с выработанным сроком эксплуатации» [Электронный ресурс] // Гарант. 2000. URL: <https://base.garant.ru/2564448/> (дата обращения: 17.08.2024).

⁴ Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2005/64/ЕС от 26.10.2005 «Об одобрении типа транспортных средств относительно возможности их повторного использования, вторичной переработки и восстановления и об изменении Директивы 70/156/ЕЭС Совета ЕС» [Электронный ресурс] // Гарант. 2005. URL: <https://base.garant.ru/70256884/> (дата обращения: 13.05.2024).

⁵ Федеральный закон №89-ФЗ от 24.06.1998 «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2008. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 13.07.2024).

⁶ Приказ МВД России № 1001 от 24.11.2008 «О порядке регистрации транспортных средств» [Электронный ресурс] // Гарант. 2013. URL: <https://base.garant.ru/57503958/> (дата обращения: 30.04.2024).

⁷ Приказ МВД России № 605 от 07.08.2013 «Об утверждении Административного регламента» [Электронный ресурс] // Гарант. 2013. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70365286/> (дата обращения: 17.10.2024).

⁸ Постановление Правительства РФ № 620 от 12.12.2010 «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов морского транспорта» [Электронный ресурс] // Гарант. 2019. URL: <https://base.garant.ru/199085/> (дата обращения: 23.07.2024).

отвечать требованиям по сохранности окружающей среды, то есть процесс утилизации должен проходить в строго отведенных местах, отвечающих требованиям, с целью минимизации экологического загрязнения. Для обеспечения безопасности проведения процесса были также разработаны Росстандартом приказ № 655⁹ и ГОСТ Р ИСО 30000-2013 «Суда и морские технологии. Системы менеджмента утилизации судов. Технологические требования к системе менеджмента предприятий по безопасной и экологически рациональной утилизации судов»¹⁰. Согласно национальным и международным стандартам предприятия, производящие утилизацию, обязаны выполнять указанные требования для обеспечения безопасности и экологичности работ по утилизации. Внедрение и строгое соблюдение этих требований способствуют устойчивому развитию и сохранению окружающей среды.

Разработанный межгосударственный стандарт ГОСТ 31538-2012¹¹ регламентирует жизненный цикл железнодорожного подвижного состава. Утилизация железнодорожного транспорта регулируется федеральным законом, отраслевым стандартом, национальным

стандартом, а также распоряжением ОАО «РЖД»^{12,13,14,15}.

В соответствии с ОСТ 32.181-2001 железнодорожный транспорт подлежит утилизации исключительно после официального списания подвижного состава. Процесс утилизации включает следующие этапы.

1. Списание железнодорожной техники. Списание производится после завершения эксплуатации, и техника должна быть официально исключена из учета.

2. Передачу документации. При списании и последующей отправке на утилизацию, составляется пакет документов, включающий технические характеристики, информацию о стоимости и наличии драгоценных металлов.

3. Разборку и утилизацию. На основе полученной документации осуществляется разборка и утилизация техники. Эти процессы выполняются исключительно специализированными компаниями, имеющими соответствующие лицензии.

Таким образом, утилизация железнодорожного транспорта регулируется строгими нормативными требованиями, направленными на обеспечение экологической безопасности и рационального использования ресурсов.

⁹ Приказ Росстандарта № 655-ст от 18.09.2020 «Об утверждении национального стандарта Российской Федерации» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2020. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_369196/ (дата обращения: 13.09.2024).

¹⁰ ГОСТ Р ИСО 30000-2013. Национальный стандарт РФ «Суда и морские технологии. Системы менеджмента утилизации судов. Технические требования к системам менеджмента предприятий по безопасной и экологически рациональной утилизации судов» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 655-ст от 28.08.2013) [Электронный ресурс] // Гарант. 2014. URL: <https://base.garant.ru/71424858/> (дата обращения: 21.10.2024).

¹¹ Межгосударственный стандарт ГОСТ 31538-2012 «Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Общие требования» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1172-ст от 26 ноября 2012) [Электронный ресурс] // Гарант. 2014. URL: <https://base.garant.ru/71442858/> (дата обращения: 21.10.2024).

¹² Федеральный закон «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» №18-ФЗ от 10.01.2003 [Электронный ресурс] // Гарант. 2003. URL: <https://base.garant.ru/12129475/> (дата обращения: 13.04.2024).

¹³ Стандарт отрасли ОСТ 32.181-2001 «Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок заказа, разработки, постановки на производство, проведения испытаний и утилизации железнодорожной техники». МПС России, 2002. 72 с.

¹⁴ Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52326-2005 «Устройства пломбировочные. Учет, контроль и утилизация» от 01.01.2006 [Электронный ресурс] // Гарант. 2006. URL: <https://base.garant.ru/5922584/> (дата обращения: 13.04.2024).

¹⁵ Распоряжение ОАО «РЖД» № 96/р «Об утверждении Порядка утилизации запорно-пломбировочных устройств, допущенных к применению для пломбирования вагонов, контейнеров при перевозках железнодорожным транспортом на инфраструктуре ОАО «РЖД» от 22.01.2018 [Электронный ресурс] // Гарант. 2018. URL: <https://base.garant.ru/71898064/> (дата обращения: 13.04.2024).

В автомобильной отрасли процесс регулируется несколькими ключевыми документами, которые определяют порядок и условия утилизации старых автомобилей, мотоциклов и других транспортных средств. Одним из основных документов, регулирующих утилизацию, является ГОСТ 31969-2013¹⁶, который содержит техническую документацию по утилизации автотранспортных средств. Этот стандарт устанавливает требования к процессам утилизации, включая экологические и технические аспекты.

Таким образом, в России действует целый комплекс нормативных актов различного уровня, устанавливающих процедуры обращения с транспортными средствами, выведенными из эксплуатации. Эти документы определяют порядок регистрации транспортных средств, административные регламенты, налоговые обязательства и другие важные аспекты, связанные с утилизацией. Соблюдение этих требований предусматривает экологически безопасное и экономически эффективное обращение с отходами.

Нормативные требования и практические подходы к утилизации авиатранспорта в России

В России отсутствует единый стандарт по реализации воздушных судов, подлежащих списанию. Утилизация авиатехники находится в сфере деятельности двух ведомств: Министерства обороны и Министерства промышленности и торговли. Структура взаимоотношений сторон в ходе реализации и утилизации списанных средств определяется постановлением Правительства Российской Федерации № 995¹⁷. Процесс эксплуатации и утилизации

компонентов авиационной техники должен соответствовать требованиям ряда нормативных документов^{18,19,20,21,22,23,24,25,26,27}.

ресурс] // Гарант. 2014. URL: <https://base.garant.ru/182784/> (дата обращения: 16.12.2024).

¹⁸ Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. 2008. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения: 13.07.2024).

¹⁹ Федеральный закон № 10-ФЗ «О государственном регулировании развития авиации» от 08.01.1998 [Электронный ресурс] // Гарант. 1998. URL: <https://base.garant.ru/175962/> (дата обращения: 13.08.2024).

²⁰ Постановление Правительства РФ № 505 «Об утверждении Порядка инвентаризации мест и объектов добычи, транспортировки, переработки, использования, сбора, хранения и захоронения радиоактивных веществ и источников ионизирующего излучения на территории Российской Федерации» от 22.07.1992 [Электронный ресурс] // Гарант. 1992. URL: <https://base.garant.ru/2108170/> (дата обращения: 13.07.2024).

²¹ Приказ Министерства природных ресурсов РФ № 786 «Об утверждении федерального классификационного каталога отходов» от 02.12.2002 [Электронный ресурс] // Гарант. 2003. URL: <https://base.garant.ru/12129508/> (дата обращения: 07.07.2024).

²² ГОСТ СССР 25866-83 № 3105 «Эксплуатация техники. Термины и определения» от 13.07.1983 [Электронный ресурс] // Гарант. 1985. URL: <https://base.garant.ru/5916630/> (дата обращения: 13.07.2024).

²³ ГОСТ 27692-2012 № 1196-ст «Документация эксплуатационная на авиационную технику. Построение, изложение, оформление и содержание формуляров» от 26.11.2012 [Электронный ресурс] // Гарант. 2013. URL: <https://base.garant.ru/70696972/> (дата обращения: 17.04.2024).

²⁴ ГОСТ 15.309-98 № 189 «Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения» от 11.06.1999 [Электронный ресурс] // Гарант. 2000. URL: <https://base.garant.ru/12141420/> (дата обращения: 03.10.2024).

²⁵ ГОСТ 30772-2001 № 607-ст «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения» от 28.12.2001 [Электронный ресурс] // Гарант. 2002. URL: <https://base.garant.ru/12131573/> (дата обращения: 11.03.2024).

²⁶ ГОСТ РФ Р 58849-2020 № 176-ст «Авиационная техника гражданского назначения. Порядок создания. Основные положения» от 24.04.2020 [Электронный ресурс] // Гарант. 2020. URL: <https://base.garant.ru/74345098/> (дата обращения: 28.08.2024).

²⁷ Стандарт отрасли ОСТ 1 02786-2009 «Авиационный стандарт. Типовые условия поставки и послепрода-

¹⁶ Межгосударственный стандарт ГОСТ 31969-2013 № 1221-ст «Автомобильные транспортные средства. Техническая документация по утилизации. Общие требования» от 28.10.2013 [Электронный ресурс] // Гарант. 2014. URL: <https://base.garant.ru/71317368/> (дата обращения: 21.11.2024).

¹⁷ Постановление Правительства РФ № 995 «О порядке утилизации и реализации авиационной техники, снятой с эксплуатации» от 21.12.2000 [Электронный

Таблица 1
Table 1

Нормативно-правовое обеспечение процесса утилизации в транспортной сфере России
Regulatory and legal support of the recycling process in the Russian transport sector

Вид транспорта	Нормативно-правовые акты			Практическая реализация в Российской Федерации
	Российская Федерация	Европейский союз	Межправительственные организации	
Морской	– ПП РФ от № 620 – № 7-ФЗ – Приказ № 655 – ГОСТ Р ИСО 30000-2013	– Регламент ЕС № 1257/2013 – Директива 2000/59/ЕС	Конвенция «О безопасности и экологически обоснованной утилизации судов»	да
Ж/д	– Распоряжение ОАО «РЖД» № 96р – ГОСТ Р 52326-2005 – ФЗ № 18-ФЗ – Стандарт ОСТ 32.181-2001	—	Стандарт ГОСТ 31538-2012	да
Авто	– ГОСТ 31969-2013 – № 89-ФЗ – № 393-ФЗ	– Директива 2000/53/ЕС – Директива 2005/64/ЕС	—	да
Авиа	ПП РФ № 995	—	Руководство AFRA BMP 5.0	нет

Анализ нормативно-правового контента позволил установить, что в Российской Федерации процесс утилизации транспортных средств включает нормативно-правовую базу, охватывающую морской, железнодорожный, автомобильный и отчасти авиационный виды транспорта (табл. 1). Основные законодательные акты устанавливают экологические, технические и административно-правовые требования к утилизации. Эти меры направлены на обеспечение экологической безопасности, экономической целесообразности и рационального использования природных ресурсов.

Однако в отношении утилизации воздушных судов в России отсутствует унифицированный подход. Нормативно-правовая база регламентирует лишь требования к металлическим соединениям и не предъявляет высоких требований к качеству продукции, полученной в результате утилизации. На текущий момент в сфере авиационного транспорта отсутствует эффективная система практической утилизации. Утилизация осуществляется на добровольной основе, что обусловлено слабой нормативно-технической базой.

Для обеспечения экологической безопасности и рационального использования ресурсов необходимо разработать систему утилизации, соответствующую современным требованиям. Такая система должна включать меры по безопасному обращению с отходами, а также возможности применения вторичных

дажного обеспечения эксплуатации авиационной техники гражданского назначения. Общие требования». М.: ФГУП «НИИСУ», 2010. 35 с.

материалов в производстве новой авиационной техники. Ключевым аспектом в данной ситуации являются разработка и внедрение законодательных актов и регламентов, охватывающих не только авиационный, но и другие виды транспорта. Это требует создания единой нормативно-правовой базы, регулирующей соответствующие процессы.

В России работает несколько крупных компаний, занимающихся утилизацией авиационной техники: «Авиаторресурс», «ПЕТРОМАКС», «Южно-Уральский специализированный центр утилизации» и «ПЗЦМ-АВИА»^{28,29,30,31}. Подробный обзор их деятельности и оценка рентабельности выполнены авторами ранее. Были выявлены некоторые противоречия, которые сдерживают развитие процедур утилизации:

1) технологии рециклинга в сфере утилизации АТ недостаточно активно используются, несмотря на их экологическую привлекательность;

2) несмотря на наличие потребности в утилизации воздушных судов, в реальности эти потребности не обеспечиваются;

3) только половина из крупнейших утилизирующих предприятий демонстрирует высокую рентабельность.

Поскольку срок службы продукции во многих секторах промышленности сокращается, а также с учетом особенностей материалов, из которых изготавливаются ВС, и условий их эксплуатации необходимо создать отраслевую систему утилизации АТ, в связи с чем повышается потребность в серьезных научных исследованиях для решения этой проблемы.

Процесс завершения срока службы продукта может иметь много последствий для всех сторон, так как каждая из них имеет свои собственные цели и приоритеты. Однако из-за множества факторов и противоречивых критериев для принятия решений поиск компромиссов является сложной задачей. Например, для принятия оптимальных решений в экологических и экономических вопросах рекомендуется использовать эвристический метод «пирамида утилизации», но он не имеет количественных основ и не всегда применим для всех целей, поэтому необходим простой, систематический, логичный и количественный метод для принятия решения об окончании срока службы самолета.

Зарубежный опыт обращения с воздушными судами, выведенными из эксплуатации

На Глобальной конференции по устойчивому производству был предложен метод утилизации воздушных судов с истекшим сроком службы (рис. 2)³² [10, 11]. Идея этой модели заключается в структурированном, пошаговом принятии решений в процессе утилизации воздушного судна. В вершине алгоритма находится воздушное судно со сроком службы, который подходит к концу. Это процесс реверсивной логистики – перемещение ВС из пункта назначения обратно к месту происхождения или в третье место [12]. После реализации обратной логистики судно выводится из эксплуатации: опасные вещества сливаются и утилизируются, судно разбирается, а снятые материалы объединяются в две группы: комплектующие с ВС и материалы, подлежащие переработке или повторному использованию.

Материалы, полученные при разборке воздушного судна, могут быть отправлены на переработку, утилизацию или на сжигание с рекуперацией энергии. Отходы, которые невозможно восстановить, отправляются на

²⁸ Официальный сайт ООО «Авиаторресурс» [Электронный ресурс]. URL: <http://aviavtorresurs.ru/> (дата обращения: 30.03.2024).

²⁹ Официальный сайт АО «ПЕТРОМАКС» [Электронный ресурс]. URL: <https://petromaxi.com/?ysclid=m5r7an7lyu277759609> (дата обращения: 30.03.2024).

³⁰ Официальный сайт АО «ЮУрСЦУ» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.centrutil.ru/> (дата обращения: 30.03.2024).

³¹ Официальный сайт ООО «ПЗЦМ-АВИА» [Электронный ресурс]. URL: <https://podmet.ru/> (дата обращения: 30.03.2024).

³² Aircraft Technology Engineering and Maintenance, 2009. Iss. 102. 305 p.

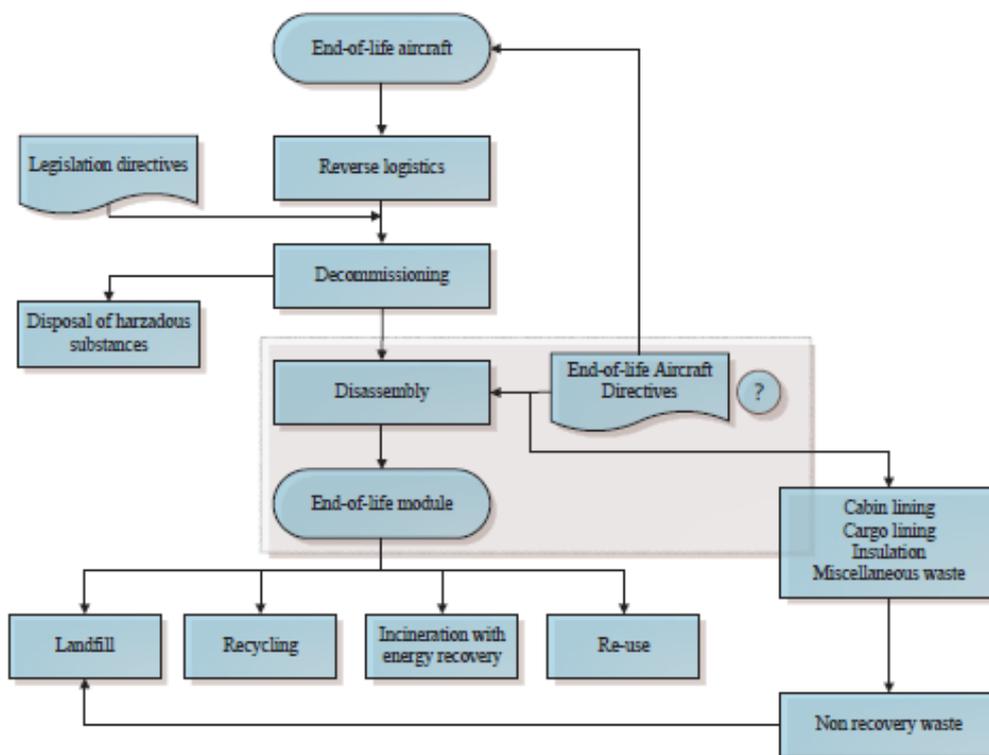


Рис. 2. Предлагаемая структура процесса списания ВС
Fig. 2. Proposed structure for the aircraft decommissioning process

утилизацию [13, 14]. Экономика воздушного судна, экономика компании и глобальная экономика часто ограничивают решения для воздушных судов с интегрированными системами самолета. Было проведено сравнительно мало исследований в этой области, поэтому отрасль по демонтажу и утилизации самолетов нуждается в проведении количественных анализов.

С 2000-х годов компании Airbus и Boeing начали разрабатывать альтернативные подходы к управлению самолетами в конце срока службы. Airbus запустил проект PAMELA, а Boeing основал AFRA – Ассоциацию по утилизации парка воздушных судов. Впоследствии обе компании запустили проекты в ОАЭ и в Китае по созданию единого центра по обслуживанию и утилизации воздушных судов.

Ассоциация по утилизации парка воздушных судов (Aircraft Fleet Recycling Association – AFRA) – это международная некоммерческая организация, объединяющая производителей, компании по переработке отходов и авиаци-

онные технологические компании в авиационной промышленности. Основная цель AFRA – продвижение передовой практики охраны окружающей среды, совершенствование нормативных требований и устойчивое развитие при разборке воздушных судов, а также при утилизации и вторичной переработке авиационных деталей и материалов. AFRA была основана в 2005 году с целью разработки отраслевого кодекса поведения и передовой практики в области демонтажа воздушных судов и переработки материалов. Состав организации возрос с 11 членов-основателей до 73 членов в настоящее время. Миссия AFRA – организация устойчивого управления отработанными планерами и двигателями. Она пропагандирует и публикует коллективный опыт своих членов для улучшения практики по управлению самолетами с истекшим сроком эксплуатации и поощрения взаимодействия между различными организациями для создания эффективных технологий возврата авиационных материалов в экономику для переработки и снижения вреда

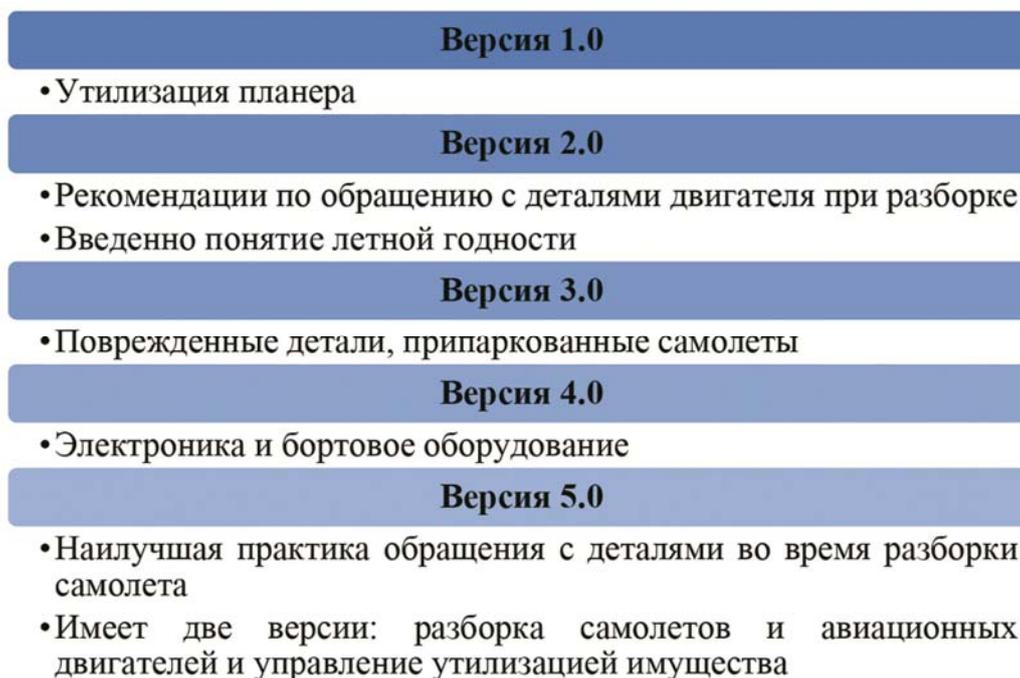


Рис. 3. Нововведения в версиях BMP
Fig. 3. Innovations in the BMP versions

окружающей среде. AFRA работает над реализацией своих целей путем поддержания и поощрения отраслевого признания своей программы аккредитации (BMP) и участия в ней; вовлечения своих членов в ключевые проекты и инициативы; установления рабочих партнерских отношений с ассоциированными организациями. AFRA включает в себя производителей воздушных судов, производителей двигателей, компании по демонтажу и дистрибьюторы запчастей, а также компании по переработке топлива и материалов. Из 400–450 самолетов, которые ежегодно сдаются на слом и разборку по всему миру, примерно одна треть разбирается компаниями – членами AFRA.

Руководство AFRA по передовым методам управления (Best Management Practice – BMP) – это международный стандарт, определяющий наилучшие методы демонтажа и утилизации воздушных судов с учетом экологических аспектов. Он содержит рекомендации по обращению с деталями и материалами, снятыми при разборке и утилизации воздушного судна для обеспечения макси-

мальной экологической безопасности. AFRA разработала «Руководство для авиационной промышленности по устойчивому демонтажу и переработке» и «Практическое руководство по демонтажу воздушного судна», которые содержат рекомендации по обращению с бывшими в употреблении деталями и материалами. Одним из главных достижений AFRA было первое «Руководство по наилучшей практике управления»³³. Последняя версия 5.0 представляет собой сборник рекомендаций по наилучшей практике обращения с деталями во время разборки самолета, когда срок службы планера или двигателя подходит к концу. Оно содержит лучшие управленческие практики, которые подлежат аудиту. Документ представлен в двух версиях: для наилучших методов разборки самолетов и авиационных двигателей и для наилучших методов управления утилизацией имущества (рис. 3).

³³ Ассоциация по утилизации парка воздушных судов [Электронный ресурс]. URL: <https://afraassociation.org/> (дата обращения: 29.03.2024).

Следует отметить, что представленное руководство закрыто для общественного ознакомления, являясь интеллектуальной собственностью. Версии руководства AFRA BMR доступны членам, аккредитованным и претендующим на аккредитацию предприятиям. Руководство BMR рекомендует компаниям, занимающимся разборкой самолетов, а также владельцам активов выяснять, были ли воздушное судно или его части вовлечены в нарушение летной годности, связанное с необычной жарой, стрессом или ненормальными условиями окружающей среды. AFRA требует проведения аудита до первоначальной аккредитации, на котором проверяются процессы, необходимые для устранения дефектов. После этого проводится по два ежегодных аудита, чтобы убедиться, что все проблемы были решены. Примерно 70 % самолетов сегодня можно полностью переработать. AFRA полагает, что этот показатель может возрасти до 95 % за счет разработки новых технологий и широкого внедрения передовых экологических практик в отрасли. Аккредитация доступна как для членов ассоциации, так и для компаний, не являющихся ее членами. На сегодняшний день AFRA аккредитует компании по нескольким направлениям: демонтаж, переработка отходов, двойная аккредитация.

Проект AFRA не ограничивается только Европой, а также развивается в других регионах. Например, компания Falcon Aircraft Recycling, основанная в 2013 году, является первой компанией по утилизации самолетов в Объединенных Арабских Эмиратах³⁴. Она сотрудничает с руководством аэропортов и департаментами гражданской авиации для решения проблемы брошенных самолетов. Ее 14 проектов направлены на поддержку важных социальных проблем и помогают детям из разных стран улучшить свою жизнь. Компания предлагает различные услуги, включая техническое обслуживание, разборку, хранение и утилизацию самолетов, управление

авиационными компонентами и мобильные сервисы по всему миру. Emirates Airlines заключили с Falcon Aircraft Recycling контракт на утилизацию и переработку первого списанного самолета A380. Этот проект направлен на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Обычно списанные самолеты отправляются в отдаленные места, что негативно сказывается на экологии. Проекты по разборке и утилизации таких самолетов часто не реализуют многие компоненты, а материалы, такие как огнестойкие ткани и композиты, сложно утилизировать из-за невозможности их переработки. Falcon Aircraft Recycling заключила партнерское соглашение с Wings Craft для переработки деталей самолета в уникальные коллекционные и розничные товары. Компания сотрудничает с различными организациями, включая Emirates Airline Foundation, чтобы обеспечить эффективные и экономичные решения по окончании срока службы самолетов.

В 2005 году европейский авиастроительный концерн Airbus начал проект PAMELA, который длился до 2007 года и был поддержан Европейской комиссией. Этот проект был инициирован Airbus, EADS, Suez-Sita и LIFE. Его основная идея заключалась в создании стандарта безопасного и экологически чистого управления воздушными судами с истекшим сроком службы, а также в способности переработать или рекуперировать до 85 % веса самолетов A300 (масса 106 тонн).

Кроме того, целью проекта было создание полностью интегрированного подхода к проектированию и производству самолетов на протяжении всего их жизненного цикла. В рамках проекта был разработан трехэтапный технологический подход к переработке и утилизации воздушных судов, который состоял из следующих основных этапов: вывода из эксплуатации, разборки самолета и «умного» демонтажа (рис. 4) [7].

На первом этапе (D1) воздушное судно выводится из эксплуатации (рис. 5). Оно осматривается, и составляется список деталей, которые могут быть использованы повторно. Это позволит контролировать состояние деталей на протяжении всего жизненно-

³⁴ Falcon Aircraft Recycling [Электронный ресурс].
URL: <https://falconaircraftrecycling.com/index> (дата обращения: 30.03.2024).

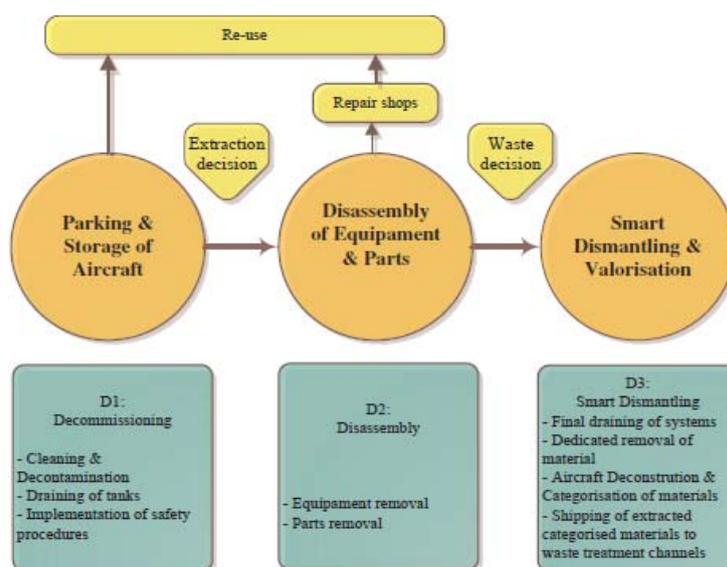


Рис. 4. Трехэтапный технологический подход к переработке и утилизации ВС – PAMELA
Fig. 4. A three-stage technological approach to the recycling and disposal of aircraft – PAMELA



Рис. 5. Технологический процесс вывода ВС из эксплуатации (D1)
Fig. 5. The technological process of aircraft decommissioning (D1)

го цикла. Далее следует очистка и обеззараживание с последующим сливом жидкостей из систем и трубопроводов. Повторно используются только рабочие жидкости, которые можно продать и использовать в качестве топлива. Если рабочие жидкости больше нельзя использовать, их необходимо утилизировать в соответствии с правилами. Также подлежат утилизации опасные вещества. Когда срок службы воздушного судна истекает и оно не может быть использовано повторно, наступает второй этап подхода к переработке и утилизации воздушного судна – разборка (D2). Если воздушное судно не может быть использовано повторно, оно должно быть утилизировано.

Демонтаж реализуется в три этапа: планирование, разборка, сортировка. При планировании важно не только спланировать порядок действий, но и изучить состав и структуру конструкций, материалов и деталей, представленную на конкретном типе воздушного судна [15]. Детали и оборудование, пригодные для повторного использования, выбираются на основе спроса на рынке запасных частей [16].

При сборе всей необходимой информации составляется подробный план разборки и обработки полученных материалов с учетом двух факторов:

1) материал не подлежит повторному использованию – обрабатывается для этапа утилизации;

2) материал подлежит переработке – обрабатывается для подготовки к рециклингу с дальнейшей отправкой на соответствующие рынки сбыта.

Долгосрочным аспектом планирования процесса разборки является анализ пропускной способности.

Заключительным этапом трехэтапного подхода PAMELA является умный демонтаж. В качестве следующего шага самолет был демонтирован. Материалы подготавливаются для измельчения и сортировки и отправляются в каналы утилизации. Проект PAMELA доказал, что до 85 % компонентов каждого самолета можно безопасно и эффективно повторно использовать по сравнению с 60 % до начала реализации проекта. При поддержке Европейской комиссии в исследовании были использованы методы переработки, применяемые в других отраслях промышленности, и количество отходов на свалках сократилось до менее чем 15 % вместо 40–50 %. Успех PAMELA привел к созданию Tarmac Aerosave, который теперь восстанавливает материалы, составляющие 90 % веса самолета.

В конце января 2024 года в Китае начал работу сервисный центр полного жизненного цикла Airbus, который занимает площадь более 60 гектаров и способен обслуживать различные типы воздушных судов³⁵. Он будет предоставлять широкий спектр услуг, включая стоянку, техническое обслуживание, модернизацию, переоборудование и утилизацию самолетов. Цель центра – повышение уровня утилизации авиационных компонентов и материалов до 90 %. Общий объем инвестиций в проект – 6 млрд юаней, а его целью является углубление сотрудничества между Китаем и Европой. Airbus China прогнозирует, что к 2042 году Китай станет крупнейшим в мире рынком авиационных услуг с объемом в 54,1 млрд долларов. В Китае ожидается темп роста в сфере услуг по утилизации самолетов, включая разборку и продажу использованных материалов.

Airbus выбрал Китай в качестве партнера для создания первого центра полного жизненного цикла авиационной техники. Этот центр станет шагом на пути к экономическому развитию авиационной отрасли с внедрением принципов замкнутого цикла и экологичности. Airbus обеспечивает поддержку местных проектов с целью развития авиационных сервисов и внедрения стратегии зеленой экономики в Китае. Сегодня многие страны Европы и Азии уделяют большое внимание вопросам утилизации. В ходе исследования проведен анализ ряда международных проектов по следующим параметрам: численность участников и структура сотрудничества, основная концепция и стратегические направления реализации проектов в области утилизации техники, а также оценка предложенных рекомендаций (табл. 2).

Проект AFRA – один из ведущих участников в области, объединяющий более 70 высококвалифицированных специалистов. Boeing активно развивает эту сферу, разрабатывая рекомендации и стандарты, которые формируют основу для дальнейших инноваций и улучшений. Компания стремится не только к созданию передовых технологий, но и к их широкому внедрению, что делает Boeing ключевым игроком на рынке.

На сегодняшний день Boeing завершил один из своих самых масштабных проектов – PAMELA. Этот проект стал отправной точкой для дальнейшего развития и внедрения передовых решений в области аэрокосмических технологий. PAMELA заложил основу для создания Tarmac Aerosave, совместного проекта с дочерней компанией Airbus – Safran. Tarmac Aerosave не только продолжил традиции, заложенные PAMELA, но и привнес новые идеи и технологии, сделав его важным этапом в эволюции отрасли.

Успех Tarmac Aerosave стал основой для реализации проекта Airbus Lifecycle Services в Китае. Это партнерство позволило объединить усилия ведущих мировых производителей авиационной техники и создать комплексный подход к обслуживанию и ремонту самолетов. Airbus Lifecycle Services стал важным шагом в развитии международного со-

³⁵ Официальный сайт Airbus [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airbus.com/en> (дата обращения: 30.03.2024).

Таблица 2
Table 2

Особенности реализации международных проектов по утилизации ВС
Features of the implementation of the international projects of aircraft recycling

	AFRA	Falcon (участник AFRA)	PAMELA	ALSC
Основан	2005	2013	2005	2024
Окончание	действует	действует	2007	действует
Членство	73 + 43 а/п и 14 НИС	–	5	–
Сотрудничество	ISTAT, ATAG, ИКАО, IATA, ASA, AOOC, EASA, FAA	Муниципалитеты Фуджейры и Дубая, EPDD / EPDA, DCA, GCAA, FANR	Европейская комиссия	Satair
Идея	Экологически без- опасная утилиза- ция материалов и безопасное по- вторное использо- вание утилизиро- ванных металлов и компонентов	Создание единого центра вне Европы для хранения, об- служиванию и ути- лизации ВС	Создание единого стандарта безопасного и экологического управления ВС с ИСС	Создание единого сервисного центра полного жизненно- го цикла
Направление	Разработка ком- плексного подхода к демонтажу и ути- лизации, процесс аудита и аккреди- тации	ТО, разборка, мо- бильные сервисы, утилизация, управ- ление компонента- ми, краткосрочное и среднесрочное хра- нение	ВС не может ис- пользоваться повторно, долж- но подлежать утилизации	Краткосрочная и долгосрочная сто- янка, ТО, модерни- зация, переобору- дование, демонтаж и утилизация
Разработка ре- комендаций	AFRA BMP 5.0	–	Трехэтапный технологический подход к перера- ботке и утилиза- ции ВС	–

трудничества и обмена знаниями, что способствует повышению эффективности и безопасности авиаперевозок по всему миру.

Заключение

Авиационная техника состоит из значительного количества элементов, которые не так просто утилизировать из-за разнообразия материалов и сложности конструкции. С каждым годом на многочисленных площадках накапливается все больше твердых технических отходов, которые занимают значитель-

ные площади. Утилизация компонентов летательных аппаратов становится актуальной межотраслевой проблемой. Процесс утилизации должен быть строго регламентирован и контролироваться.

На основе анализа опыта других отраслей транспорта и международных практик можно говорить о существовании универсальных подходов к организации системы утилизации авиатехники. В рамках исследования были выделены основные этапы такой системы: сбор техники, демонтаж компонентов, извлечение деталей для последующего использо-

вания в качестве запасных частей, измельчение, сортировка по материалам, восстановление или утилизация.

Следует отметить, что управление завершающим этапом жизненного цикла транспортного средства позволяет управлять жизненным циклом отрасли. С учетом российских реалий в сфере обращения с отходами производства для обеспечения эффективного функционирования системы утилизации, возможно, потребуется создание специализированного подразделения (департамента утилизации авиационной техники), который будет являться координирующим органом в системе и взаимодействовать с вовлеченными в процесс госучреждениями.

Еще одним немаловажным аспектом является стимулирование владельцев воздушных судов. Государство может предоставлять прямые субсидии для покрытия части затрат на утилизацию и компенсации стоимости вторичных ресурсов, а также косвенные субсидии в виде возврата или снижения налогов. Например, стимулирование такой деятельности может включать снижение размера платы за негативное воздействие на окружающую среду при размещении отходов при использовании технологий, которые уменьшают количество отходов; ускоренную амортизацию основных производственных фондов, связанных с обращением с отходами; налоговые льготы; льготы по плате за негативное воздействие на окружающую среду и экологическому сбору; выделение средств из федерального бюджета и бюджетов субъектов РФ для компенсации затрат на процедуры передачи ВС на утилизацию.

Выводы

С учетом перспектив развития отечественного парка ВС гражданской авиации и ужесточения требований к охране окружающей среды в последующие годы будет обостряться проблема обращения с летательными аппаратами в постэксплуатационный период их жизненного цикла.

В настоящее время в России отсутствует отраслевая система утилизации ВС, выработавших свой ресурс, однако потребность в такой системе в последующие годы будет возрастать.

Обзор нормативно-правового обеспечения процессов утилизации в различных отраслях транспортной сферы России показал, что единого подхода к их регламентированию не существует. При этом в отличие от авиационного морской, железнодорожный и автомобильный транспорт на практике реализует подходы, зафиксированные в соответствующих национальных актах, документах Европейского союза и межправительственных организаций.

Анализ деятельности российских компаний, занимающихся утилизацией авиационной техники, выявил противоречия, которые являются результатом организационных, технических, управленческих и иных аспектов во всей цепочке утилизационных процедур, придавая им характер эпизодичности и неупорядоченности.

В формировании отечественной системы утилизации ВС полезен зарубежный опыт, в частности проект PAMELA корпорации Airbus с последующей реализацией проекта Airbus Lifecycle Services в Китае, деятельность ассоциации AFRA корпорации Boeing, проект Falcon Aircraft Recycling компании Emirates, запущенный в 2024 году международный проект Airbus China. Исследование международных практик демонстрирует наличие идентичной последовательности действий при утилизации авиатехники.

При формировании отечественной системы утилизации авиатехники следует учитывать технические аспекты, специфику информационных и материальных потоков. Функциональность и эффективность системы утилизации авиатехники обусловлены рядом факторов, например наличием специализированного подразделения (департамента утилизации авиационной техники); программы, стимулирующей владельцев воздушных судов становиться участниками системы.

Список литературы

1. **Khan W.S.** Aircraft recycling: A review of current issues and perspectives / W.S. Khan, S.A. Soltani, E. Asmatulu, R. Asmatulu [Электронный ресурс] // *researchgate.net*. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/289031934> (дата обращения: 15.11.2024).

2. **Кириченко А.С., Серегин А.Н.** Перспективы и проблемы утилизации воздушного флота России // *Молодой ученый*. 2016. № 24 (128). С. 76–81.

3. **Семерикова М.Е., Наумова Т.В.** Утилизация авиационной техники в России // *International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering*. 2023. № 2. С. 46–54.

4. **Семерикова М.Е., Наумова Т.В.** Актуальные экологические проблемы гражданской авиации // *Наука. Техника. Человек: исторические, мировоззренческие и методологические проблемы*. 2022. Т. 1, № 12. С. 418–423.

5. **Ribeiro J.S., Gomes J. de O.** Proposed framework for End-Of-Life aircraft recycling // 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing. *Procedia CIRP*. 2015. Vol. 26. Pp. 311–316. DOI: 10.1016/j.procir.2014.07.048

6. **Lucas R.** End-of-life vehicle regulation in Germany and Europe – problems and perspectives // Discussion paper of the project-Autoteile per Mausclick. Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2011. 30 p.

7. **Jody B., Daniels E.** End-of-life vehicle recycling: state of the art of resource recovery from shredder residue. Technical Report. Argon National Laboratory, 2007. 146 p. DOI: 10.2172/925337

8. **James B.** How to make money with older equipment // *Airfinance Journal*. 2010. Vol. 335. P. 48.

9. **Денисов В.Н., Роголев В.А.** Проблемы экологизации автомобильного транспорта. СПб.: МАНЭБ, 2003. 213 с.

10. **Fonseca A.S., Nunes M.I., Matos M.A.** Environmental impacts of end-of-life vehicles' management: recovery versus elimination // *International Journal Life Cycle Assess.* 2013.

Vol. 18. Pp. 1374–1385. DOI: 10.1007/s11367-013-0585-1

11. **Keivanpour S., Ait-kadi D., Mascle C.** Toward a strategic approach to End-of-Life aircraft recycling projects // *Journal of Management and Sustainability*. 2013. Vol. 3, no. 3. Pp. 76–94. DOI: 10.5539/jms.v3n3p76

12. **Martens H.** Recyclingtechnik. Fachbuch für lehre und praxis. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2011. 346 p. DOI: 10.1007/978-3-8274-2641-3

13. **Kaewunruen S., Rungskunroch P., De'Von J.** A through-life evaluation of end-of-life rolling stocks considering asset recycling, energy recovering, and financial benefit // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 212. Pp. 1008–1024. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.271

14. **Das S.K., Yedlarajiah P., Narendra R.** An approach for estimating the end-of-life product disassembly effort and cost // *International Journal of Production Research*. 2000. Vol. 38, no. 3. Pp. 657–673. DOI: 10.1080/002075400189356

15. **Staudinger J., Keoleian G.A.** Management of end-of-life vehicles (ELVs) in the US [Электронный ресурс] // *Center for Sustainable System*. 2001. 67 p. DOI: 10.7302/22065 (дата обращения: 07.11.2024).

16. **Zhao X., Verhagen W.J.C., Curran R.** Disposal and recycle economic assessment for aircraft and engine end of life solution evaluation [Электронный ресурс] // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, iss. 2. ID: 522 DOI: 10.3390/app10020522 (дата обращения: 07.11.2024).

References

1. **Khan, W.S., Soltani, S.A., Asmatulu, E., Asmatulu, R.** (2013). Aircraft recycling: A review of current issues and perspectives. *researchgate.net*. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/289031934> (accessed: 15.11.2024).

2. **Kirichenko, A.S., Seregin, A.N.** (2016). Prospects and problems of the Russian air fleet utilization. *Molodoy uchenyy*, no. 24 (128), pp. 76–81. (in Russian)

3. **Semerikova, M.E., Naumova, T.V.** (2023). Disposal of aviation equipment in Russia. *International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering*, no. 2, pp. 46–54. (in Russian)

4. **Semerikova, M.E., Naumova, T.V.** (2022). Current environmental problems of civil aviation. *Nauka. Tekhnika. Chelovek: istoricheskiye, mirovozzrencheskiye i metodologicheskiye problemy*, vol. 1, no. 12, pp. 418–423. (in Russian)

5. **Ribeiro, J.S., Gomes, J. de O.** (2015). Proposed framework for End-Of-Life aircraft recycling. In: *12th Global Conference on Sustainable Manufacturing. Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 311–316. DOI: 10.1016/j.procir.2014.07.048

6. **Lucas, R.** (2011). End-of-life vehicle regulation in Germany and Europe—problems and perspectives. In: *Discussion paper of the project-Autoteile per Mausclick*. Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 30 p.

7. **Jody, B., Daniels, E.** (2007). End-of-life vehicle recycling: state of the art of resource recovery from shredder residue. *Technical Report*. Argon National Laboratory, 146 p. DOI: 10.2172/925337

8. **James, B.** (2010). How to make money with older equipment. *Airfinance Journal*, vol. 335, p. 48.

9. **Denisov, V.N., Rogalev, V.A.** (2003). Problems of making automobile transport more environmentally friendly. St. Petersburg: MANEB, 213 p. (in Russian)

10. **Fonseca, A.S., Nunes, M.I., Matos, M.A.** (2013). Environmental impacts of

end-of-life vehicles' management: recovery versus elimination. *International Journal Life Cycle Assess*, vol. 18, pp. 1374–1385. DOI: 10.1007/s11367-013-0585-1

11. **Keivanpour, S., Ait-kadi, D., Mascle, C.** (2013). Toward a strategic approach to End-of-Life aircraft recycling projects. *Journal of Management and Sustainability*, vol. 3, no. 3, pp. 76–94. DOI: 10.5539/jms.v3n3p76

12. **Martens, H.** (2011). Recyclingtechnik. Fachbuch für lehre und praxis. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 346 p. DOI: 10.1007/978-3-8274-2641-3

13. **Kaewunruen, S., Rungskunroch, P., De'Von, J.** (2019). A through-life evaluation of end-of-life rolling stocks considering asset recycling, energy recovering, and financial benefit. *Journal of Cleaner Production*, vol. 212, pp. 1008–1024. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.271

14. **Das, S.K., Yedlarajiah, P., Narendra, R.** (2000). An approach for estimating the end-of-life product disassembly effort and cost. *International Journal of Production Research*, vol. 38, no. 3, pp. 657–673. DOI: 10.1080/002075400189356

15. **Staudinger, J., Keoleian, G.A.** (2001). Management of end-of-life vehicles (ELVs) in the US. *Center for Sustainable System*, 67 p. DOI: 10.7302/22065 (accessed: 07.11.2024).

16. **Zhao, X., Verhagen, W.J.C., Curran, R.** (2020). Disposal and recycle economic assessment for aircraft and engine end of life solution evaluation. *Applied Sciences*, vol. 10, issue 2. ID: 522. DOI: 10.3390/app10020522 (accessed: 07.11.2024).

Сведения об авторах

Семерикова Мария Евгеньевна, аспирант кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, maria.semerr@yandex.ru.

Наумова Татьяна Владимировна, доктор философских наук, доцент, профессор кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, t.naumova@mstuca.ru.

Information about the authors

Maria E. Semerikova, Postgraduate Student of the Life and Flight Safety Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, maria.semerr@yandex.ru.

Tatyana V. Naumova, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Professor of the Life and Flight Safety Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, t.naumova@mstuca.ru.

Поступила в редакцию	14.01.2025	Received	14.01.2025
Одобрена после рецензирования	19.02.2025	Approved after reviewing	19.02.2025
Принята в печать	22.05.2025	Accepted for publication	22.05.2025